

PAT-NO: JP411258077A
DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 11258077 A
TITLE: TORQUE SENSOR
PUBN-DATE: September 24, 1999

INVENTOR-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
TANAKA, KATSUAKI	N/A
KASHIWAGI, YOICHIRO	N/A
OODATE, TAIJI	N/A

ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
TOYOTA AUTOM LOOM WORKS LTD	N/A

APPL-NO: JP10057772

APPL-DATE: March 10, 1998

INT-CL (IPC): G01L003/10

ABSTRACT:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a torque sensor with good sensitivity and small hysteresis of output characteristic.

SOLUTION: This torque sensor 1 comprises a part 5 to be detected externally fitted to a shaft 2 and a detecting part 6 for detecting a magnetic change due to distortion of the part 5 to be detected. A magnetostrictive material 8 composing the part 5 to be detected cylindrically formed and integrally rotatably fitted to the shaft 2 through an intermediate sleeve 7. A cylindrical yoke 10 is disposed relatively rotatable in relation to the shaft 2, and an exciting coil 11 and a detecting coil 12 are arranged inside the yoke 10. The magnetostrictive material 8 is formed in 0.5-3 mm thick, and 8 is formed by a crystalline magnetostrictive material. An Fe-Ni alloy containing 30-80 wt.% Ni added with several wt.% Cr is used as the magnetostrictive material.

COPYRIGHT: (C)1999, JPO

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-258077

(43) 公開日 平成11年(1999) 9月24日

(51) Int.Cl.⁶

G 0 1 L 3/10

識別記号

F I

G 0 1 L 3/10

A

審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 8 頁)

(21) 出願番号 特願平10-57772

(22) 出願日 平成10年(1998) 3月10日

(71) 出願人 000003218

株式会社豊田自動織機製作所

愛知県刈谷市豊田町2丁目1番地

(72) 発明者 田中 勝章

愛知県刈谷市豊田町2丁目1番地 株式会

社豊田自動織機製作所内

(72) 発明者 柏木 陽一郎

愛知県刈谷市豊田町2丁目1番地 株式会

社豊田自動織機製作所内

(72) 発明者 大立 泰治

愛知県刈谷市豊田町2丁目1番地 株式会

社豊田自動織機製作所内

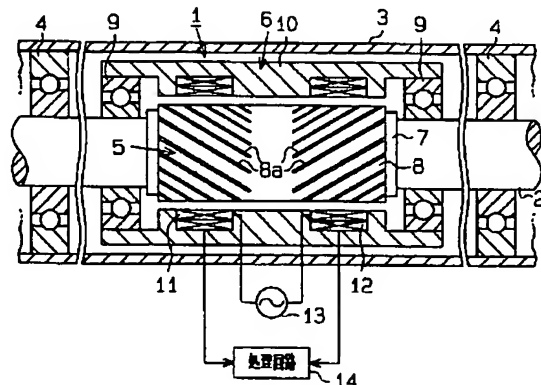
(74) 代理人 弁理士 恩田 博宣

(54) 【発明の名称】 トルクセンサ

(57) 【要約】

【課題】 感度が良好で出力特性のヒステリシスが小さなトルクセンサを提供する。

【解決手段】 トルクセンサ1はシャフト2に外嵌された被検出部5と、被検出部5の歪みによる磁気的変化を検出するための検出部6とから構成されている。被検出部5を構成する磁歪材8は円筒状に形成され、中間スリーブ7を介してシャフト2に対して一体回転可能に取り付けられている。シャフト2に対して円筒状のヨーク10が相対回転可能に配置され、ヨーク10の内側には励磁用コイル11及び検出用コイル12がそれぞれ配設されている。磁歪材8は厚さが0.5～3mmに形成されている。磁歪材8は結晶質の磁歪材料で形成されている。磁歪材料としてNi含有量が30～80重量%のFe-Ni合金にCrを数重量%添加したものが使用されている。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 被検出軸の外周面に固定された筒状の磁歪材と、該磁歪材を通る磁束を発生させる磁束発生手段と、前記被検出軸に作用するトルクに応じて前記磁歪材が歪むことによる前記磁束の変化を検出するための検出手段とを備えたトルクセンサにおいて、前記磁歪材を結晶質の磁歪材料で前記被検出軸に外嵌される筒状に形成し、その厚さを3mm以下にしたトルクセンサ。

【請求項2】 前記磁歪材料の結晶粒径を1～100μmとした請求項1に記載のトルクセンサ。

【請求項3】 前記磁歪材は厚さが0.5mm以上に形成されるとともに、その外周面に前記被検出軸の軸線方向と所定の角度をなす多数の溝を有する環状の領域が軸線と直交する平面に対して対称に形成されている請求項1又は請求項2に記載のトルクセンサ。

【請求項4】 前記磁歪材料としてNi含有量が30～80重量%のFe-Ni合金にCrあるいはMoを数重量%添加したものが使用されている請求項1～請求項3のいずれか一項に記載のトルクセンサ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、被検出軸に作用するトルクを磁歪材の透磁率の変化を利用して検出するトルクセンサに関するものである。

【0002】

【従来の技術】この種の磁歪式のトルクセンサは、シャフトの外周面に固定された磁歪材がシャフトに働くトルクによって捻じれて歪むことによりその透磁率がトルクに応じて変化し、この透磁率変化に対応した磁束変化に基づいて検出用コイルに誘導される誘導起電力からトルクを検出するようになっている。磁歪式トルクセンサとして被検出軸自身を磁歪材で形成すると、被検出軸の磁気特性と機械的な強度とを両立させるのが難しく、加工も難しいという問題があるため、一般に被検出軸の表面に磁歪材が設けられる。

【0003】特開平7-55603号公報には、図5及び図6に示す構成のものが開示されている。このトルクセンサでは、図5に示すように、鋼製軸素材51の外周面の磁歪測定部位に高磁歪合金(FeAl合金)層52が帯状に金属組織的に融合されて形成されている。また、鋼製軸素材51の高磁歪合金層52と対応する箇所には、複数の部分螺旋溝53a、53bが左右対称に形成された溝形成部54a、54bが設けられている。溝形成部54a、54bと対応する位置には励磁手段兼検出手段として機能するコイル55a、55bがヨーク56の内部に配設されている。

【0004】高磁歪合金層52はTIG溶接、プラズマ粉末溶接、プラズマ溶射などにより、帯状の肉盛層として形成される。肉盛層が厚すぎると肉盛層に割れを発生

する虞がでるため、肉盛厚さを3mm以下とするのが良く、高磁歪合金層52としてFeAl合金層を使用した場合は、FeAl合金層による磁歪現象を有効に検出するためには、肉盛厚さを0.1mm以上とすることが望ましいとしている。また、鋼製軸素材51の表面の高周波焼入れ処理により、少なくとも高磁歪合金層52の厚さ以上の深さにわたって硬化層が形成されている。

【0005】そして、磁歪検出部の回路構成は図6に示すように、コイル55a、55bと抵抗57a、57bとでブリッジ回路を形成し、対向する一方の接続点C-D間を交流電源58の供給側Vinとして、両コイル55a、55bに交流の定電圧を印加しておき、対向する他方の接続点A-B間の出力を差動増幅器59に接続してある。そして、図5の鋼製軸素材51に対してトルクTが加わると、差動増幅器59からトルクに対応した出力が生じるようになっている。

【0006】また、特開昭59-228140号公報には、車軸(被検出軸)に円筒状の磁歪材を嵌合したものが開示されている。この磁歪式トルクセンサは、磁歪材の表面に多数の溝が軸心方向に45度と-45度の角度をなすように形成された二つの環状領域が形成されている。そして、磁歪材の外側に励磁用コイル及び検出用コイルが各環状領域に対応して2組みずつ配設され、励磁用コイルは交流電源に接続され、検出用コイルは処理回路に接続されている。そして、車軸に作用するトルクに対応した検出信号が両検出用コイルから出力され、処理回路でトルクが求められるようになっている。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】従来より、トルクセンサの検出感度の向上が要望されている。ところで、磁歪材を通る有効磁束は、被検出軸及び磁歪材の総断面積に対する磁歪材の占める断面積比率(有効断面積)に依存する。従って、磁歪材を通る有効磁束を増やすには磁歪材の厚さを厚くすればよい。また、磁歪材料自身の感度を上げるには、通常の高透磁率材料と同様、結晶粒を粗大化させる磁気焼鈍を行うのが一般的であった。

【0008】しかし、トルクセンサの出力とトルクには、図7(a)に示すようなヒステリシス現象が存在する。センサのヒステリシスは材料の磁化特性に起因する。強磁性体の磁化過程には磁壁移動過程と、磁化回転過程とがあり、磁化特性は図7(b)に示すようなヒステリシスを生じる。センサのヒステリシスは材料の磁化状態において、マイナーループが磁界Hの原点付近で不安定なために起こるといわれている。その結果、トルク零におけるセンサ出力が不安定になる。

【0009】マイナーループの不安定さは、図7(b)のヒステリシス曲線(B-Hカーブ)が急峻な程大きくなる。従って、B-Hカーブを寝かすことによりマイナーループの不安定さを低減できる。B-Hカーブが寝た状態になると透磁率は下がるため、センサの出力も下

る。しかし、センサの出力低下は励磁条件で改善可能と考えられる。

【0010】ところが、本願発明者は被検出軸に溶射により磁歪層を形成したもの（以下、溶射材という）と、溶製後、圧延・切削加工して円筒状に形成した磁歪材（以下、バルク材という）について、定格の24倍の過負荷時（12N・mのトルク印加時）のドリフトを励磁電流値を変更して観察した結果、図8（a）、（b）に示すような結果を得た。ここで過負荷ドリフトとは次のように定義される。なお、過負荷後のドリフト電圧とは図4におけるVdに相当する。

【0011】過負荷ドリフト（%FS）＝（過負荷後のドリフト電圧／定格時の出力電圧）×100

その結果、図8（a）に示すように、溶射材の場合は、励磁電流を増大させることにより過負荷ドリフトを大幅に下げることができる。しかし、図8（b）に示すように、バルク材の場合は励磁電流の効果が小さく、励磁電流値を大きくして過負荷ドリフト（ヒステリシス）を満足できる値までに小さくすることは非常に難しいことが判明した。

【0012】さて、特開平7-55603号公報では、センサヒステリシスHys（%）を次式のように定義したとき、FeAl合金のAl濃度を10～16重量%とし、鋼製軸素材の表面に磁歪合金層の厚さ以上の深さで硬化層を形成すると満足できる結果が得られると記載されている。

【0013】 $Hys = \{ 2V_h / (V_1 + V_2) \} \times 100$

ここで、Vhは図7（a）のトルクと出力電圧の関係を示すグラフにおいて、トルク零におけるセンサ出力の差、V1はプラス側の最大トルク印加時の出力電圧、V2はマイナス側の最大トルク印加時の出力電圧を意味する。

【0014】しかし、磁歪材を被検出軸に溶接により、金属組織的に融合させた層として形成する構成では、被検出軸に加熱加工を施す必要があり、被検出軸自体の特性を劣化させるなどの不具合を生じさせる虞がある。また、磁歪材に比較して被検出軸が大きな（長さが長い）場合、加工装置が大型化するという問題もある。

【0015】一方、特開昭59-228140号公報に開示されたもののよう、被検出軸と別体に形成した磁歪材、即ちバルク材を後から被検出軸に固定する構成では、前記の問題はない。しかし、前記のようにバルク材の場合は溶射材と異なり、励磁電流によりヒステリシスを低下させることは難しいため、従来はバルク材で要求を満たすものが得られなかった。

【0016】本願発明者は磁歪材の厚さや結晶粒径の大きさと、センサのヒステリシスとの関係についてを検討した結果、トルクセンサの定格でのフルスケール感度と、零点でのセンサ出力のずれ（図7（a）のVhに相

当）とは磁歪材の厚さが大きいほど大きくなるが、その増加の度合いが異なり、良好な性能のセンサを得るには磁歪材の厚さ及び結晶粒径の大きさに特定の範囲があることを見いだした。即ち、センサの感度を高めるために単純に磁歪材の厚さを厚くしたのでは、零点でのセンサ出力のずれが大きくなってセンサ性能が低下することを見いだした。

【0017】本発明は前記の問題点に鑑みてなされたものであって、その目的は感度が良好で出力特性のヒステリシスが小さなトルクセンサを提供することにある。

【0018】

【課題を解決するための手段】前記の目的を達成するために請求項1に記載の発明では、被検出軸の外周面に固定された筒状の磁歪材と、該磁歪材を通る磁束を発生させる磁束発生手段と、前記被検出軸に作用するトルクに応じて前記磁歪材が歪むことによる前記磁束の変化を検出するための検出手段とを備えたトルクセンサにおいて、前記磁歪材を結晶質の磁歪材料で前記被検出軸に外嵌される筒状に形成し、その厚さを3mm以下にした。

【0019】請求項2に記載の発明では、前記磁歪材料の結晶粒径を1～100μmとした。請求項3に記載の発明では、請求項1又は請求項2に記載の発明において、前記磁歪材は厚さが0.5mm以上に形成されるとともに、その外周面に前記被検出軸の軸線方向と所定の角度をなす多数の溝を有する環状の領域が軸線と直交する平面に対して対称に形成されている。

【0020】請求項4に記載の発明では、請求項1～請求項3のいずれか一項に記載の発明において、前記磁歪材料としてNi含有量が30～80重量%のFe-Ni合金にCrあるいはMoを数重量%添加したものが使用されている。

【0021】従って、請求項1～請求項4に記載の発明によれば、被検出軸に作用するトルクによって磁歪材が歪むと、磁束発生手段により磁歪材を通るように形成された磁束に変化が現れ、この被検出軸に作用したトルクに応じた磁束の変化が検出手段により検出される。磁歪材が結晶質の磁歪材料で前記被検出軸に外嵌される筒状に形成されるとともに、その厚さが3mm以下に設定されているため、同じ感度でも出力特性のヒステリシスがより小さくなる。

【0022】請求項2に記載の発明によれば、磁歪材料の結晶粒径が1～100μmに設定されているため、被駆動軸に過負荷が加わった後のヒステリシスがより小さくなる。

【0023】請求項3に記載の発明によれば、被検出軸にトルクが作用したとき磁歪材に形成された二つの領域の一方には圧縮力が、他方には引張力が作用する。磁歪材は圧縮力を受けると透磁率が小さくなり、引張力を受けると透磁率が大きくなる。従って、圧縮力を受ける領域の検出信号と、引張力を受ける領域の検出信号とが異

なる。

【0024】請求項4に記載の発明によれば、請求項1～請求項3に記載の発明における磁歪材を容易に得ることができる。

【0025】

【発明の実施の形態】（第1の実施の形態）以下、本発明を具体化した第1の実施形態を図1～図4に従って説明する。

【0026】図1はトルクセンサ1が組付けられた部分における断面図である。被検出軸としてのシャフト2は、略円筒状のハウジング3の内部に挿通された状態でベアリング4を介してハウジング3に対して回転可能に支持されている。トルクセンサ1はシャフト2に外嵌された磁歪特性を有する被検出部5と、被検出部5の歪みによる磁気的変化を検出するための検出部6とから構成されている。

【0027】被検出部5は、図2に示すように、シャフト2に外嵌される中間スリーブ7と、中間スリーブ7に外嵌された円筒状の磁歪材8とからなる。磁歪材8は中間スリーブ7を介してシャフト2に対して一体回転可能に取り付けられている。磁歪材8の表面（外周面）にはシャフト2の軸線方向と所定の角度をなす多数の溝8aを有する環状の領域A、Bが、軸線と直交する平面に対して対称に形成されている。多数の溝8aは軸心方向に45度と-45度をなして周方向に等間隔に形成されている。

【0028】検出部6は、図1に示すようにシャフト2に対して2つのベアリング9を介して両端にて支持されて相対回転可能に配置された円筒状のヨーク10を備えている。ヨーク10の内周面には前記各領域A、Bと対向する位置にそれぞれ凹部が形成されている。各凹部には内側に励磁用コイル11が、外側に検出用コイル12がそれぞれ巻回されたボビン（図示せず）がそれぞれ収納されている。ヨーク10がベアリング9を介してシャフト2に支持されているため、シャフト2がハウジング3に対して偏心していても、ヨーク10と磁歪材8との軸心が一致し易い。なお、励磁用コイル11が磁束発生手段を構成し、検出用コイル12が検出手段を構成している。

【0029】励磁用コイル11は交流電源13に接続され、励磁用コイル11には所定周波数の交流電流が供給される。検出用コイル12は公知の処理回路14に接続されている。励磁用コイル11に交流電流が流れることにより、ヨーク10→磁歪材8→ヨーク10を磁束が通る磁気回路が、各領域A、Bのそれぞれに対して形成される。磁歪材8を通る磁束は、溝8aにより分断された各領域を溝8aに沿うように、磁歪材8の軸線方向に対して45度又は-45度傾く。

【0030】2つの検出用コイル12から出力される各誘導起電力は、磁歪材8の領域Aと領域Bにおける歪

み、すなわちシャフト2のトルクに比例する。シャフト2にトルクが作用したとき、その際の回転方向に応じて領域Aと領域Bには一方に圧縮力が他方に引張力が作用する。磁歪材8は、引張力が作用すると透磁率が大きくなり、圧縮力が作用すると透磁率が小さくなる。このため、各検出用コイル12からの誘導起電力は、引張力が働いた被検出領域を検出する側で大きく、圧縮力が働いた被検出領域を検出する側で小さくなる。

【0031】処理回路14は、両検出用コイル12から入力した誘導起電力を差動回路（図示せず）で減算し、その減算した信号を内部に設けられた整流回路等で整流して公知の回路でトルクの値を求めるようになっている。差動回路で減算するのは、温度変化等による外乱ノイズを相殺して補償することで、精度の高いトルク検出を行うためである。検出用コイル12からの出力信号は、シャフト2にトルクが加わっていないときに処理回路14が零トルクを検出するようにレベル設定されている。そして、処理回路14は検出信号の信号レベルが零レベルに対して正側にどれだけ値をとるか、負側にどれだけ値をとるかによって、トルクの大きさ及び方向を検出するようになっている。

【0032】磁歪材8は結晶質の磁歪材料で形成され、その厚さが0.5mm以上、3mm以下の所定の値に形成される。厚さを3mm以下に設定するのは、3mmを超えるとヒステリシスが急に悪化するため、満足できるヒステリシスとするために厚さの上限が3mmとなる。また、厚さを0.5mm以上に設定するのは、0.5mmを下回ると満足できる溝8aを形成できないためと、磁性体の体積が小さくなって所望の出力感度を得られないためである。この実施の形態では例えば磁歪材8は厚さ1.5mmに形成されている。

【0033】磁歪材料としてはNi含有量が30～80重量%のFe-Ni合金にCrを数%添加した鉄・ニッケル・クロム合金が使用される。この実施の形態では磁歪材料として例えば、Ni含有量が56重量%のFe-Ni合金にCrを4%添加した鉄・ニッケル・クロム合金が使用されている。また、結晶の平均粒径は300μm程度であった。

【0034】次に、このトルクセンサ1の作用を説明する。トルクセンサ1の作動中は、交流電源13から励磁用コイル11に一定の振幅および周波数の交流電流が流され、磁束がヨーク10→磁歪材8→ヨーク10を通る2つの磁気回路が形成される。シャフト2に回転力が加えられてトルクが発生すると、磁歪材8を軸方向に分ける領域Aと領域Bは、それぞれ一方が圧縮力を他方が引張力を受ける。このため、領域Aと領域Bの磁束の変化を検出する各検出用コイル12には、引張力を受けた被検出領域を検出する側で大きくなり、圧縮力を受けた被検出領域を検出する側で小さくなるようなシャフト2のトルクに比例する誘導起電力が発生する。

【0035】2つの検出用コイル12に誘導された誘導起電力は処理回路14に入力される。処理回路14に入力された両検出用コイル12からの電圧が差動回路で減算されるとともに、その減算された信号が内部に設けられた整流回路等で整流されて公知の回路でトルクの値が求められる。

【0036】定格トルクとして10N・mを加えた場合のトルクセンサのフルスケール(FS)感度は出力電圧として60mV(ミリボルト)であった。また、その場*

$$\text{ヒステリシス}(\%FS) = (V_h/V_0) \times 100 \dots (1)$$

磁歪材料はおなじものを使用して、磁歪材8の厚さ(スリーブ厚み)を変更して同じ測定条件でFS感度を測定した結果を表1及び図3(a)に示す。また、ヒステリシスの測定結果を表1及び図3(b)に示す。

【0038】ここで、図3(b)の縦軸が示すヒステリシス(%FS)の値は、各磁歪材8を使用したときのV※

* 合のヒステリシス(定格ヒステリシス)は2.1%FSであった。ここで、ヒステリシス(定格ヒステリシス)の大きさを示す%FSとは、定格トルクを加えた後にトルクを零にしたときの出力、即ち図4におけるVhを、定格トルクを加えたときの出力、即ち図4におけるV0で割った値に100を掛けた値であり、次式で表される。

【0037】

※hの値をFS感度で割った値に100を掛けた値となる。

$$\text{ヒステリシス}(\%FS) = (V_h/FS\text{感度}) \times 100$$

【0039】

【表1】

スリーブ厚み t (mm)	0.7	1.5	2.0	3.0	4.5	10.0
FS感度	42	60	63	70	100	160
ヒステリシス	1.5	2.1	3.0	4.4	20	30

図3(a)、(b)から明らかなように、トルクセンサのFS感度は磁歪材8の厚さの増加に伴ってほぼ同じ割合で増加するのに対して、ヒステリシスは厚さ3mmを過ぎたところで急に増加することが判明した。従って、磁歪材8の厚さを3mm以下にすることで、必要なFS感度を確保するとともにヒステリシスを小さくできる。磁歪材8の厚さが薄いときにヒステリシスが小さくなる理由として、次のことが考えられる。

【0040】励磁用コイル11は磁歪材8と同軸となるように配設されているため、同じ磁界で励磁した場合、磁歪材8の厚さが薄いほど励磁磁束は磁歪材8の表層部(外周部)に集中する。従って、磁歪材8の厚さが薄くなると磁歪材8を通る磁束に起因する渦電流の関与する肉厚割合が増え、磁歪材8の交流透磁率が低く調整される。そのため、磁歪材8の交流磁化特性はB-H曲線が急峻でなくなる。高透磁率材の磁化零点付近は交流励磁された材料の磁化特性が急激に変動する不安定さがあるため、高透磁率材のままではヒステリシスが大きくなるが、磁歪材8の交流透磁率を低くすることによりヒステリシスが小さくなる。

【0041】この実施の形態では以下の効果を有する。

(イ) 円筒状の磁歪材8の厚さを3mm以下にすることにより、感度が良好で出力特性のヒステリシスを小さくできる。

【0042】(ロ) 磁歪材8の外周面に形成された両★50

★領域A、Bに対応する出力信号の差分をトルクセンサの出力とすることにより感度が大きくなる。

(ハ) 磁歪材8は厚さを0.5mm以上に形成したため、溝8aを無理なく形成できる。また、磁歪材8を長くしなくても必要な感度が得られる。

【0043】(ニ) 磁歪材料としてNi含有量が30~80重量%のFe-Ni合金にCrを数重量%添加したものが使用されているため、磁歪材料を入手し易い。

(ホ) ヨーク10をシャフト2に対してベアリング9を介して相対回転可能に支持した。従って、シャフト2に外嵌された磁歪材8とヨーク10との間のギャップをシャフト2の偏心やハウジング3の加工精度によらず、常に一定に保つことができ、トルクセンサ1の検出精度を高く確保できる。

【0044】(ヘ) 磁歪材8が中間スリーブ7を介してシャフト2に一体回転可能に固定されているため、中間スリーブ7の寸法精度を一定レベル以上に確保しておくことにより、シャフト2の加工精度をさほど厳しくしなくても、磁歪材8がシャフト2に対して心出しされて、トルクセンサ1の検出精度が安定する。

【0045】(第2の実施の形態)次に第2の実施の形態を説明する。この実施の形態では磁歪材8を形成する磁歪材料の結晶粒子の平均粒径を変更した点が前記実施の形態と異なっており、トルクセンサ1自身の機械的構成は前記実施の形態と同じである。磁歪材料を細粒化さ

せる方法として、例えば次の方法がある。

- (1) 焼鈍温度を従来温度（通常1100℃前後）より低い温度例えば900℃以下で行う。
- (2) 添加元素（例えば、Ti、Al、Nb等）を微量（数重量%）加える。
- (3) 焼鈍時の冷却速度の変更と結晶成長点を多く作るために加工度を大きくする。加工度を大きくするとは、材料粉末を圧縮したとき部分的に不均一な力が加わるようにして、結晶成長の欠陥部分を積極的に多数形成しておくことを意味する。

【0046】材料A及び材料Bを使用して、粗粒品と細*

材質	組成（重量%）				粗粒品		細粒化品	
	Ni	Fe	Cr	Ti	粒径（μm）	過負荷ドリフト（%FS）	粒径（μm）	過負荷ドリフト（%FS）
A	43	残	5	2	100	4.5	5	2.4
B	56	残	4	0	300	10	20~50	1.0

材料AではTiを加えるとともに、焼鈍を水素雰囲気中で温度を850℃として行った。材料Bでは焼鈍を水素雰囲気中で温度を400℃以下として行った。なお、材料A、Bとも粗粒品は1100℃で焼鈍を行った。

【0048】表2から明らかなように、結晶粒径を細粒化させると磁歪材料の組成あるいは細粒化方法が異なっても、過負荷ドリフトが減少することが確認された。この理由としては、結晶粒径を粗大化させると、残留応力が不均一に生じるため、零点付近でのマイナーループが不安定化する。しかし、平均粒径を小さくすることにより、大きな結晶粒の間に小さな結晶粒界が形成され、その結晶粒界によって磁壁移動が妨げられて急峻な透磁率変化が抑制されることが考えられる。また、細粒が増えることによって電気抵抗値が高くなり、使用時に生じる渦電流による大幅な磁気劣化が防止される。

【0049】適切な結晶粒径としては、材質により変動はあるが、平均粒径が1~100μmの範囲が好ましく、5~50μmの範囲がより好ましい。磁歪材8の厚さが同じ場合、平均粒径を小さくすることによりヒステリシスが低下する。従って、前記実施の形態のように磁歪材8の厚さを0.5~3mmとすることにより、前記実施の形態の（イ）~（ハ）の効果に加えて、ヒステリシスをより小さくできる。

【0050】なお、実施の形態は前記に限定されず、例えば次のように具体化してもよい。

○ 磁歪材8の材料として、鉄・ニッケル・クロム合金のCrに代えてMoを添加した鉄・ニッケル・モリブデ※50

*粒化品について、過負荷ドリフト（%FS）を測定した結果を表2に示す。ここで過負荷ドリフトとは、過負荷トルク印加後、トルク零とした時のトルクセンサの出力（図4のVdに相当）を、定格トルクを加えたときの出力（図4のV0に相当）で割った値に100を掛けた値である。この実施の形態では、定格時のトルクは3N・mで、過負荷時のトルクを250N・mとした。また、磁歪材8の厚さは0.7mmとした。

【0047】

10 【表2】

※N合金を使用してもよい。例えば、Ni含有量が30~80重量%のFe-Ni合金にMoを数%添加した鉄・ニッケル・モリブデン合金が使用される。

【0051】○ 磁歪材8の材料として、鉄・ニッケル・クロム合金や鉄・ニッケル・モリブデン合金の他に、Fe-Al合金、Fe-Ni合金等の高透磁率軟磁性材料を使用する。

【0052】○ 中間スリーブ7を設けずに、筒状の磁歪材8を直接シャフト2に取り付けてもよい。

○ 結晶粒径の小さな磁歪材料からなる磁歪材8を形成する場合、焼鈍を省略して、焼結後の冷却速度を調整するだけでもよい。

【0053】○ 磁歪材8をその表面に溝8aのない平滑スリーブとし、平滑スリーブをクロスヘッド型ピックアップで検出する構成を採用してもよい。前記各実施の形態から把握できる請求項記載以外の技術的思想（発明）について、以下にその効果とともに記載する。

【0054】（1）請求項1~請求項3のいずれか一項に記載のトルクセンサにおいて、前記磁歪材料はNi含有量が30~80重量%のFe-Ni合金にCrを数重量%添加するとともに、結晶成長点を多く作るための添加元素が加えられている。この場合、結晶粒が細かい磁歪材量の製造が簡単になる。

【0055】（2）（1）の添加元素としてAl、Ti、Nbが使用され、その添加量は数重量%以下である。この場合も（1）と同様な効果を発揮する。（3）

Ni含有量が30~80重量%のFe-Ni合金にCrを数重量%添加した磁歪材料を使用して、厚さ0.5

～3mmの円筒状に形成した磁歪材。この磁歪材を使用することにより、感度が良くてヒステリシスの小さな出力特性のトルクセンサが得られる。

【0056】なお、本明細書でいう「ヒステリシス」とは、定格ヒステリシスだけを意味するのではなく、過負荷ドリフト（過負荷ヒステリシスに相当する）を含む。

【0057】

【発明の効果】以上詳述したように、請求項1～請求項4に記載の発明によれば、感度が良好でヒステリシスの小さな出力特性のトルクセンサが得られる。

【0058】請求項2に記載の発明によれば、出力特性のヒステリシスがより小さくなる。請求項3に記載の発明によれば、磁歪材に形成された二つの領域の透磁率の変化に基づいた検出信号が出力されるため、溝を形成しない場合に比較して簡単な構成でトルクの検出感度が向上する。

【0059】請求項4に記載の発明によれば、前記特性を有する磁歪材料を入手しやすい。

【図面の簡単な説明】

【図1】 第1の実施の形態におけるトルクセンサの部

分模式断面図。

【図2】 磁歪材及びシャフトを示す斜視図。

【図3】 (a)は磁歪材の厚さと出力感度の関係を示すグラフ、(b)は磁歪材の厚さとヒステリシスの関係を示すグラフ。

【図4】 トルクセンサの出力とトルクの関係を示すグラフ。

【図5】 従来技術におけるトルクセンサの部分断面図。

10 【図6】 同じくトルクセンサの検出部の回路図。

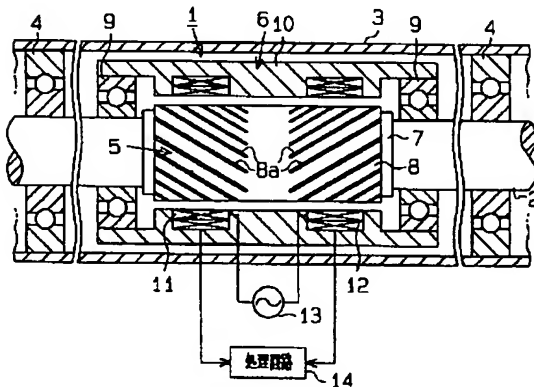
【図7】 (a)はトルクセンサの出力とトルクの関係を示すグラフ、(b)は磁化曲線を示すグラフ。

【図8】 (a)は溶射材の励磁電流値と過負荷ドリフトの関係を示すグラフ、(b)はバルク材の励磁電流値と過負荷ドリフトの関係を示すグラフ。

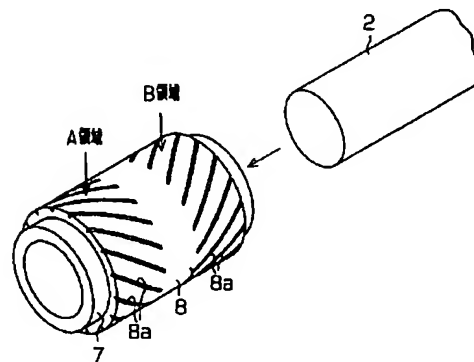
【符号の説明】

1…トルクセンサ、2…被検出軸を構成するシャフト、8…磁歪材、8a…溝、11…磁束発生手段としての励磁用コイル、12…検出手段としての検出用コイル、A、B…領域。

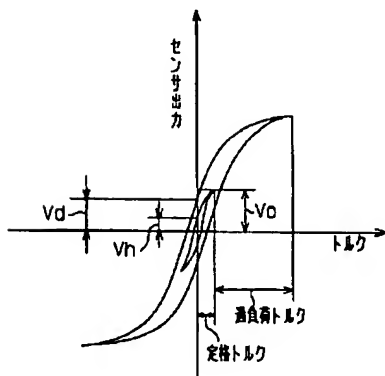
【図1】



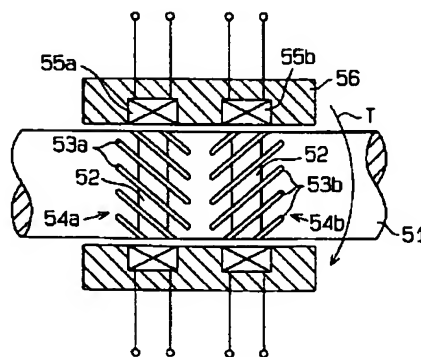
【図2】



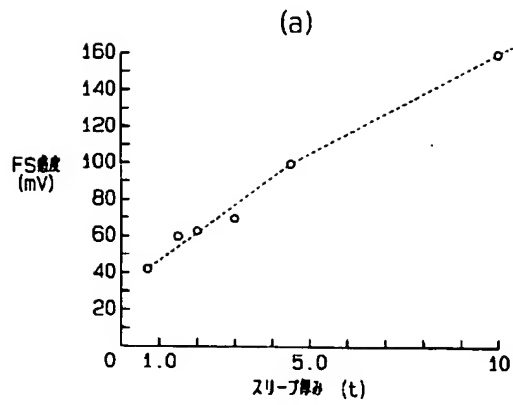
【図4】



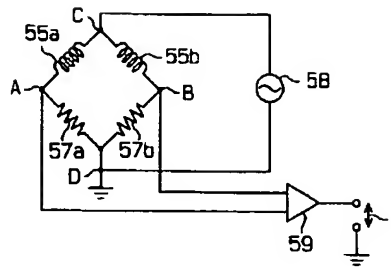
【図5】



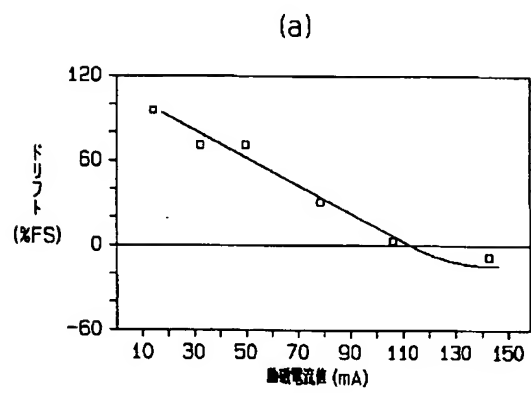
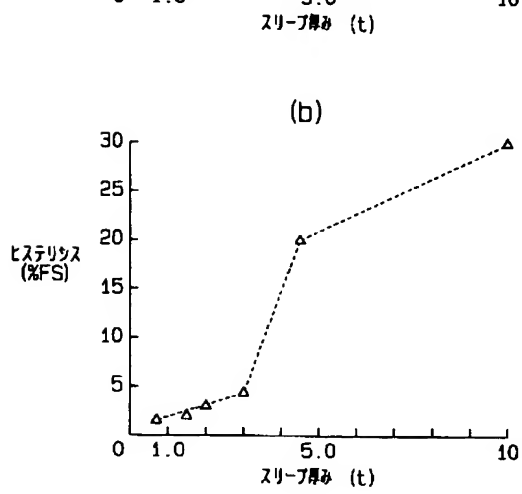
【図3】



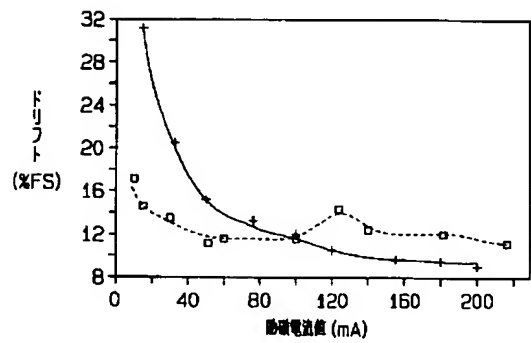
【図6】



【図8】



(b)



【図7】

